

心理学実験プログラムにおけるスピーカと コンピュータ・ディスプレイからの 出力の時間差の測定について

——オシロスコープを用いた時間測定に関する
手続きとその留意点——

岡 田 圭 二

1. 序

1-1. 導 入

心理学において、様々な刺激や情報が人に提示され、人の特性が検討される。その際に重要なこととして刺激や情報の呈示がどのような時間間隔で出力されているかがある。例えば、同時に刺激を呈示する意図のある場合、果たして同時に呈示できているのであろうか。実験用のコンピュータ・プログラムにおいて同時に刺激が呈示されるようにプログラムされていたとして、実際に同時に呈示されているのであろうか。

時間間隔が長く、その時間間隔が手動にて測定でき、測定誤差が大きくても許容できる実験状況であれば、ストップウォッチを用いて簡単に行える。しかし、非常に短い時間間隔、例えば1 msec単位の統制が求められる状況はその測定が困難である。

本研究は、文部科学省の科学研究費補助金若手研究（B）の補助を受けて行われた。

一般的には非常に短い時間間隔を制御する状況では、専用の機械やコンピュータが用いられる。専用機械であれば、時間に関する保証は制作した者のみが行い、利用者は機械の設定を信じるだけである。同じようにコンピュータであれば、専用プログラムやプログラミング言語の仕様を信じるしかない。

非常に短い時間間隔を測定するために、専用の装置もある。しかし、その入手れや維持が困難だったり（高価、メンテナンスや補修にコストがかかるとか）、かなり特殊な状況に特化して製作してあったりする。例えば、理工学に関する領域において非常に短い時間間隔を測定する装置は数多くある。しかし利用する言葉の違い、測定精度の違い（理工系の分野の方が要求される精度が高い）などから、それらの装置をその分野になじみのない者が簡単に利用するという状況にはない。

1-2. 解 決 策 — オシロスコープを利用することの薦め —

そこで本論文は、オシロスコープを利用した時間間隔の測定の情報を提供する。オシロスコープを利用することには、以下のような利点がある。まず第1に、利用できる情報が多い。工学、特に電気に関する分野における基本的かつ入門的な測定機器であるため、入門者向きの情報から、専門的な情報まで数多くの参考になる文献その他がある。第2に、オシロスコープ自体の入手が容易である。同時に特定の会社が無くなっても類似した製品が手に入れらるという、機種を入手する多様性や安定性が高いという第3の利点とも通底している。このことは、オシロスコープを利用した測定に関する知識や技能を得たならば、安定的にその測定技能を利用していけることにつながる。また第4に、周波数分析、電子回路の動作チェックにも利用できるなど多目的性が高いこともオシロスコープによる時間測定の技能を習得する利点である。

逆に欠点としては、利用可能な情報が多いことは、時間測定に関する情報

が探し出しにくいこととつながる。オシロスコープの主目的は主に周波数の測定であり、時間測定は余技のようなものである。それゆえに時間測定に関する情報は探し出しにくい側面がある。また心理学とは異なる電気、電子の分野の利用が主となっているため、心理学からは利用しにくい。例えばオシロスコープに関する情報には、心理学の研究者にはなじみのない操作、用語が多い。

1-3. 本論文の目的とその意義

そこで本論文では、心理学の研究者がオシロスコープを利用して時間測定を行うことの利便性を高めるために、測定手続き、留意点をまとめておく。本論文では特に、オシロスコープを利用して、(1台のコンピュータに接続された)スピーカからの音声出力とディスプレイの画面出力の時間差を測定する手続きを明確にすることを目的とする。この情報を論文にしておくことは、心理学においてよりスムーズな時間測定が行われることにつながる。

2. 測定の手続き

2-1. 測定手続きの全体、および注意点

オシロスコープを用いて、スピーカからの出力とディスプレイからの出力の時間差を測定することに、3つのポイントがある。それは、(1)スピーカへの接続、(2)ディスプレイ画面の測定、(3)オシロスコープの操作、および測定である。各ポイントを順に説明する。

なお以下の情報は、すべてのコンピュータ・システムに適用できることを保証するものではない。本論文の情報を利用して時間差の測定を行う場合、各自のシステム、装置などの条件、仕様により、故障等が起きる可能性もある。また本論文に間違いの含まれる可能性が皆無であるとはいえない。故障その他が生じた場合、責任はとれない。参考情報としてのみ利用して頂きたい。

使用した機器として、オシロスコープは岩通計測社のBringo2（型番DS-8822）であった。プローブはBringo IIに標準添付された岩通計測社のSS-0130Rを利用した。またコンピュータはDos/V仕様であり、OSとしてマイクロソフト社のWindowsXPを利用した。測定対象となる刺激を呈示するプログラムはマイクロソフト社のVisual C++.netとDirect Xを利用して作成した。

2-2. スピーカへの接続

2-2-1. 接続方法、接続箇所

コンピュータの音声出力やスピーカ出力と、オシロスコープのプローブを接続する。その際に、(1) コンピュータの音声出力やスピーカ出力の端子部分へ直接にオシロスコープのプローブを接続する方法と、(2) コンピュータの音声出力やスピーカ出力へAV用のケーブルを接続し、そのケーブルの先端を加工し、スピーカ出力のプラス極（一般に赤色の端子やケーブル）とマイナス極（一般に黒色の端子やケーブル、GNDとも表記する場合あり）の線を露出し、その線へオシロスコープのプローブを接続する方法がある。本論文では(2)の方法を採用した。注意すべき事として、ヘッドフォン端子へ加工したケーブルやオシロスコープのプローブを接続しない事がある。ヘッドフォン端子からの出力では、電圧が低すぎて測定が行えない。

2-2-2. オシロスコープとの接続

プラス極からきたケーブルをオシロスコープのプローブ先端へ接続する。マイナス極からきたケーブルをプローブに付属する鱗口クリップへ接続する。

2-3. ディスプレイ画面測定

2-3-1. ディスプレイ画面測定の全体

コンピュータのディスプレイへの出力を測定するには、(1) ディスプレイ

への描画を検出するための測定器、(2) 測定器へのオシロスコープの接続が必要である。まずその測定器の製作方法、次に接続方法を述べる。

2-3-2. フォトトランジスタを用いた測定器の作成

図1へ表した電子回路を作成する。必要な部品の名前、メーカー、型番などは、表1のとおりである。部品の入手には、例えばインターネット上の各種通販業者（e.g., 秋月電子通商：<http://akizukidenshi.com/>, 若松通商：<http://www.wakamatsu-net.com/biz/>）が利用できる。

回路作成上の留意点について述べる。第1に回路上Cの位置に抵抗を取り付け、その抵抗値を変化させることにより、フォトトランジスタの感度が調整できる。第2に本論文では、ブレッド・ボードを用いて回路を作成した。

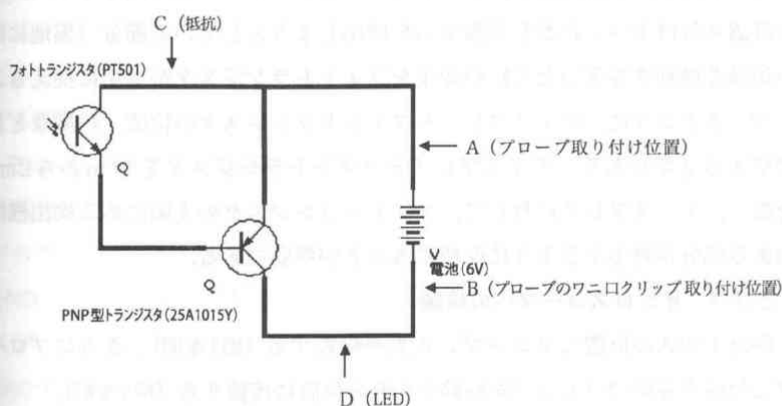


図1. ディスプレイの測定器に関する回路図

表1. 使用した部品

部 品 名	型 番
フォトトランジスタ	PT501 (SHARP)
トランジスタ	2SA1015Y
電池	単三電池4本

本論文にて用いている程度の回路であれば、ブレッド・ボードの利用が半田づけを必要としない点で容易である（岩上 2002, p.93を参照）。作成した回路が動作しているかを簡単に調べるためにLEDを利用できる。回路上Dの位置にLEDを差し込み（差し込む際に、足の向き（長い短いがある）に注意すること）、まず、フォトトランジスタへ懐中電灯の光を当てたり外したりする。その際に懐中電灯の光がフォトトランジスタの先端部分に当たる当たらないに応じてLEDが光ったり消えたりすれば、その回路は動作している。うまくLEDが光らないようであれば、部品の交換、抵抗の変換、回路のチェックをする。

2-3-3. 測定器の設置方法

周りが暗い環境であれば、コンピュータのディスプレイへ向けてその回路を設置すればよい。ただし刺激呈示を検出しようとしている部分（黒地に白の領域を描画する部分など）の変化をフォトトランジスタが適切に捉えることができるように、ディスプレイとフォトトランジスタの位置、角度などを調整する必要がある。ディスプレイとフォトトランジスタを1cmから2cmを離し、ディスプレイに対して、フォトトランジスタの先端にある検出機能のある部分が対応するように保持することが重要である。

2-3-4. オシロスコープへの接続

回路上のAの位置にプローブの先端を接続する（図1参照）。さらにプローブに付属する鳄鱼グリップを回路上のBの位置に接続する（図1参照）。

2-4. オシロスコープの操作、および測定

2-4-1. 操作、測定の全体

操作は2つの部分に分けられる。まず第1にスピーカ、ディスプレイの測定器との接続、第2にオシロスコープによる測定の操作である。ここでは、まずオシロスコープの概要を述べた後、接続方法、測定の操作について述べる。

2-4-2. オシロスコープの概要、機種選択について

オシロスコープの操作一般に関しては、田中新治による「オシロスコープ入門—電気にも弱い人にもわかる—（CQ出版社、2000）」が分かりやすい。田中（2000）には、アナログ・オシロスコープを前提とし（もちろんデジタル・オシロスコープも同様の測定はできる）、参考になる情報が数多く載っている。

本論文では、アナログ・オシロスコープではなく、デジタル・オシロスコープを利用した。その理由の一つは、2つの信号の時間差を直接的に示してくれる機能が備わっているからである。もちろんアナログ・オシロスコープであっても、調整をして画面上の変化やスケールを読み取り、2つの信号の時間差を算出することは可能である。ただ利便性という点ではデジタル・オシロスコープが優れている。本論文では岩通計測のBringo II DS-8822を用いた。この機種に固有の情報が多い点是否めないけれども、他機種の操作に関する概要は十分に得られるだろう。

2-4-3. ケーブル、測定器の接続

前記したように、スピーカ出力とディスプレイの測定器をオシロスコープのプロープへ接続する。プロープに付属する鳄鱼グリップを配線や回路のGND（マイナス極）へ接続することに注意する。またCh1のプロープをディスプレイの測定器に接続した方が測定を安定させることができる。また測定前にプロープの校正を行っておいた方がよいだろう（校正方法については、使用しているオシロスコープのマニュアル等を参照）。

2-4-4. オシロスコープによる2信号の時間差測定

岩通計測Bringo IIにおける具体的な操作を述べていく。機種やメーカーによる違いはあるけれども、一般的なデジタル・オシロスコープであれば、類似した機能を持つ場合が多い。類似した機能が無い場合であっても、田中（2000）による方法によって、2つの信号を読み取り、時間差を算出することは可能である。

まず測定的前提となるコンピュータ・プログラムについて述べる。Visual C++.netとDirect Xを利用して作成した。マルチ・スレッド機能を利用し、画面上への刺激呈示とスピーカ出力からほぼ同時に刺激が出力されるようにプログラムした。このプログラムでは、コンピュータ・ディスプレイの中央付近に、黒地を背景に10cm角の四角が白色で呈示され、同時にスピーカよりピープ音が鳴るようにした。なおVisual C++.net上ではPlaySound関数を用いて。PlaySound ("WAVE.WAV", NULL, SND_SYNC) ;というコードにて鳴らした。WAVE.WAVはファイル名である。このファイルに録音されたピープ音は、10msec程度の時間、50Hzで鳴る矩形波の音を作成したものであった。この呈示は測定者がエスケープ・キーを押すまでごく短い間隔にて繰り返した。画面上本論文では測定が主目的であるため、このプログラム自体については、詳細は述べない。心理学実験等に用いるプログラムにおいて刺激を同時呈示するプログラムを作成する場合において参考になる情報は、例えば「マルチスレッド VC++」といった言葉でインターネット上の検索（Googleなどを利用）を行うことにより数多く出てくる。

以下へ箇条書きの形で順に操作を記す。

- (1) プローブの校正等の準備をしておく。
- (2) ケーブル、測定機器へプローブを接続する。今回の場合、スピーカ出力をch2へ接続した。
- (3) 刺激測定用のプログラムをコンピュータにて実行する（今回の場合、刺激呈示を短時間の間に繰り返すようにプログラムされている）。さらにスピーカの音声出力レベルをなるべく上げる（音を大きくする）。
- (4) オシロスコープの電源を入れる。
- (5) Ch1, Ch2に入力された信号の波形（電圧の変化を示している）がまずは適切に表示されるように調整する。この時、Ch1およびCh2のVolts/Divボタン（電圧感度の調整用）、そしてTime/Divボタン（掃引時間の調整用）を回し調整を行う。

- この場合の適切とは、「波形が切れていない」、すなわち、オシロスコープの画面上に、波形がきちんと収まっていることを意味する。
- Autoset ボタンを押すことにより、ある程度自動的に調整できる。ただし、この測定の場合、Time/Div ボタン、および Volts/Div ボタンによる再調整が必要であった。
- Time/Div ボタンを回して調整する掃引時間は、可能な限り、短い（値が小さい）方が測定の精度が高まる。今回の場合、1 ms と 5 ms が適切であった。

(6) Ch2のスピーカ出力の信号にトリガがかかるように調整を行う。この調整は、時間計測のための時間計測開始点または時間計測終了点を定めるために必要な作業である。

- 調整のポイントを以下に示す。

① Sweepモード: Normal, Trig Type: Event, Type: Burst, Source: Ch2に設定する。この設定は、Ch2に入力される音声信号に特化したものである。例えば、Ch1へ入力されるフォトダイオードを利用した測定器の信号であれば、Sweepモード: Normal, Trig Type: Edgeという設定でトリガがかかるようになる（Bringo II 取扱説明書のpp.22-23およびpp.61-62を参照）。

② Intervalをピープ音の長さと、ピープ音間のインターバルにあわせて調整する。この調整によりトリガがかかる。ただし掃引時間（Time/Div ボタンにて調整）との関係により調整は変化する点に注意すること。Intervalの数値の元となるピープ音の長さ、ピープ音間のインターバル、ピープ音の波長をあらかじめ測定しておく調整がしやすい。①にて設定したBurstの機能を考慮してIntervalを調整すること（Bringo II 取扱説明書p.61参照）。

③ この調整と同時に、Trig Level ボタンを回し（これに従って、画面左側のトリガ・レベルまたは画面右下のトリガ・レベルを示す数値

が上下する), トリガとなる電圧値を調整する。

- ④ 調整が適切に行われると, Ch2の波形が, 静的になり, 安定して表示される (若干タイミングがずれて, ぶれることもある)。

(7) 時間差の測定を行う。

- ① Measure ボタンを押し, 自動計測モードを呼び出す。
- ② Function ボタンを回し, メニュー表示領域 (Bringo II 取扱説明書p.12 参照) のAを選択状態にし, さらにFunction ボタンを押して選択モードに入り, 次にSkew12が表示されるまで回す。Skew12が表示されたならばFunction ボタンを押す (これで自動計測モードがSkew12モードになった)。ここでのFunction ボタンを押す動作は, WindowsなどのOSにおいてマウスボタンの右を押すのと同じく, 選択を決定したことになる。
- ③ 次に, メニュー上のParameterを選択決定し, Parameterの設定において, Aを表示させ, Function ボタンを押し, LevelやEdgeを設定する。それぞれの意味は, Bringo II 取扱説明書を参照すること。設定したならば, Exitを選択決定する。
- ④ ここまでの操作を行うと, 設定されたトリガ・レベルに対応した波形上のポイント (トリガ・ポイント) 同士の間の時間差が, メニュー領域上の「A Skew12」の下へ表示される。
- ⑤ またこのとき画面上のCh1とCh2の波形の上に, +の点が表示される。これらの+点は, トリガ・ポイントを示している。2つの+点をみることにより, どことどこの差を時間差として測定しているのかが見て取れる。
- ⑥ 次にこれら2点を見て, 適切な波形上の差を限定して, 時間差を測定するために, 測定範囲の設定をする。このための機能がカーソル測定である (Bringo II 取扱説明書p.26参照)。 $\Delta V/\Delta t/\Delta V \& \Delta t/V$ at t/OFFとされたボタンを押す。このボタンを数回押して, 画面メ

ニュー上のTypeに Δt を表示する。これによりHカーソル（垂直の縦線が表示される）間の時間差を測定可能になる。次に、すぐ下にあるC1/C2/TCKボタンを押す。これを押し、Functionボタンを回すことにより、画面上の縦線（2本ある）が左右する。C1/C2/TCKボタンを何度か押すことにより、左右の縦線が別々に、さらに同時に動くようになる。2本の縦線に挟まれた範囲のトリガ・ポイント間の時間差がA Skew12の下部に出てくる。

3. 留意点と結語

測定における留意点として、思いつくままに挙げてみる。以上の手続きは、はあくまでも安定的な波形の場合であり、実際には、タイミングのずれなどがあり、常に一定の数値が時間差として表示されるわけではない。実際には、うまく測定が行われず、グリッドの間隔を数えて、おおざっぱな時間差を見て取るだけに終わる場合もありうるだろう。なお画面上にグリッドを表示させた場合、このグリッド上の横軸1目盛りは画面左上の掃引時間に相当する（1msと表示されていれば、1目盛りは1msの時間差を表している）。綺麗にトリガがかからず、自動測定がうまく行えない場合に利用できる。

またその他の調整として、(1) 波形をよく見て、EdgeのFallとRiseの指定も的確に行う、(2) 入力回路のCouplingにDC、AC、GNDがあり今回のような条件ではDCで測定する、(3) 測定プログラムの変更によって測定をしやすい工夫（出力のタイミングを変更する、音声ファイルの変更、ディスプレイ描画領域の変更）、といった設定にも注意の必要がある。

また本論文に用いた岩通計測のBringo IIの限界もある。機種によってはさらに高機能なトリガを備えているもの（例えば、ウィンドウ・トリガ、パターン・トリガ）もある。これらを利用すれば音声信号をトリガとした時間計測もより容易かつ正確であろうと考えられる。機種選択の際に、トリガ機能についてよく調べられることをお勧めする。

最後に本論文の意義と限界についてまとめておく。本論文では、心理学実験における刺激呈示の時間間隔ごく短い時間帯（今回は1ms単位）にて測定するためのオシロスコープの利用手続きとその留意点をまとめた。ただ使用したオシロスコープの機種固有な操作、および作成したコンピュータ・プログラム、使用したコンピュータ・システムの特性もその時間測定に影響を及ぼしている。この点に注意して、本論文をお読みいただきたい。心理学においてこのような内容をまとめた論文は見あたらない。心理学研究者にとって、本論文でまとめた情報を利用、応用することによって、心理学における実験の準備やその信頼性の測定がよりスムーズに行えるという点において有用だと考えられる。前述したように作成したプログラム、実験装置などの信頼性が、ブラックボックスのままではまずいだろう。すべての側面に関して確認を行うというのは实际的ではないとしても、厳密な時間の統制が必要とされる場合、ある程度の精度をもってそれを測定、保証していく必要があると考えられる。

4. 引用文献および参考文献

- 岩通計測 2004 取扱説明書 デジタル・オシロスコープ BRINGO II
小澤 智・佐藤健治・長濱 龍 2005 オシロスコープ入門講座—これから学ぶ人のための基本理論から最新技術まで— 電波新聞社
田中新治 2000 オシロスコープ入門—電気に弱い人にも分かる— CQ出版社